

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

BALANÇO DE ÁGUA EM CAPIM ELEFANTE
(Pennisetum Purpureum, SCHUMACH)
SOB DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO

LÚCIO LÍVIO FRÖES DE CASTRO

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

JUNHO - 1976



C355b Castro, Lúcio Lívio Fróes de.
Balanço de água em capim elefante (*Pennisetum Purpureum*, Schumach) sob diferentes regimes de irrigação / Lúcio Lívio Fróes de Castro. - Campina Grande, 1976.
70 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1976.
"Orientação: Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra".
Referências.

1. Capim Elefante - Cultura. 2. *Pennisetum Purpureum*. 3. Irrigação. 4. Dissertação - Ciências. I. Guerra, Hugo Orlando Carvalho. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 633.2(043)

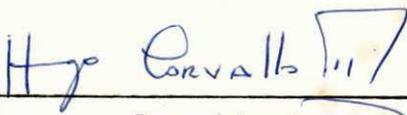
BALANÇO DE ÁGUA EM CAPIM ELEFANTE
(Pennisetum Purpureum, Schumach)
SOB DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO

LÚCIO LÍVIO FRÖES DE CASTRO
- Engenheiro Agrônomo -

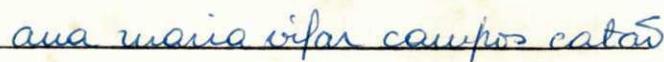
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.)

Aprovada por:

COMISSÃO


- Presidente -


- Examinador -


- Examinador -

CAMPINA GRANDE
ESTADO DA PARAÍBA - BRASIL
JUNHO - 1976

À minha querida esposa

A G R A D E C I M E N T O S

O autor expressa reconhecidos agradecimentos:

Ao professor Dr. Hugo O. Carvalho Guerra, por sua valiosa ajuda e segura orientação;

Ao Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, através de seus professores e funcionários;

À Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária - (EMCAPA), pela oportunidade de aperfeiçoamento;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pelos recursos técnico e financeiro;

Ao Engenheiro Agrônomo Antonio José Simões, pela colaboração prestada;

A seus pais, pelo incentivo;

Aos Sr. e Sra. Paschoal Passamae e filhos, pelo estímulo sempre constante;

À Professora Maria do Socorro Oliveira pela revisão de português;

A João de Oliveira Pereira, pelo eficiente trabalho de datilografia;

Aos colegas e amigos que direta ou indiretamente colaboraram com este trabalho.

R E S U M O

O presente estudo teve como objetivo principal, determinar o balanço de água num solo com Capim Elefante (Pennisetum purpureum Schumach) irrigado. Os trabalhos foram realizados na Estação Experimental de Bebedouro, localizada em Petrolina, Pernambuco. O solo utilizado neste experimento foi um Latossolo.

O balanço de água foi realizado a partir do dia 22 de janeiro ao dia 30 de novembro. Os parâmetros da equação do balanço, foram computados diariamente e apresentados em base semanal.

Os dados da condutividade não saturada, determinados empiricamente para o solo em estudo, foram utilizados, em conjunto, com a equação de Darcy para avaliar a drenagem abaixo da zona radicular do Capim Elefante, nos quatros tratamentos de água. As irrigações foram realizadas com base em determinações gravimétricas e foram feitas quando o conteúdo de

água disponível do solo atingisse 60, 45, 30 e 15% nos tratamentos A, B, C e D, respectivamente.

Excetuando o tratamento D, o fluxo de água no solo foi sempre descendente, para o intervalo de profundidade 90-120cm. Este fluxo abaixo dos 120cm foi considerado como perda por drenagem. O tratamento D, manifestou um fluxo de água ascendente, atingindo um fluxo máximo de 0,11 cm/dia. Durante os 314 dias do período em estudo, 32,8; 25,1; 17,6 e 12,3 cm de água foram perdidas por drenagem para os tratamentos A, B, C e D, respectivamente. A drenagem foi maior no tratamento A em que as irrigações foram em média cada 16 dias.

A evapotranspiração real acumulada foi estimada semanalmente, baseando-se nos dados de conteúdo de água do solo, obtidos gravimetricamente. Medições de evapotranspiração real acumulada para os períodos em estudo, foram de 131,62 ; 130,37; 131,61 e 125,21 cm, para os tratamentos A, B, C e D, respectivamente. Determinações de evapotranspiração real acumulada foram comparadas com evapotranspiração acumulada (Hargreaves), evapotranspiração potencial acumulada (Garcia-Lopez) e com os dados do tanque de evaporação. Os coeficientes de correção (K), para transformar evaporação do tanque em evapotranspiração real, variaram de 0,39 a 0,88, dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura.

Os maiores rendimentos de Capim Elefante foram obtidos com o tratamento A. Este tratamento não foi o mais eficiente no uso da água, devido as grandes perdas de água por drenagem.

A B S T R A C T

The basic objective of the present work was to evaluate the soil water balance for an irrigated Elephant grass (Pennisetum purpureum Schumach). The experiment was carried out on a Latossol, at Bebedouro Experimental Station, located in Petrolina, Pernambuco.

The soil water balance was conducted from January 22 to November 30. All the data necessary to determine the water balance was computed daily.

Insaturated soil hidraulic conductivity data, obtained empirically by the Green and Corey method, were used with Darcy's equation to evaluate drainage below the root zone of Elephant Grass for four irrigation management regimes. Irrigations were sheduled gravimetrically and they were done when the available soil water content reached 60, 45, 30 e 15 per cent (treatments A, B, C e D, respectielvy).

Soil water pressure at four depths in each plot, was obtained by using gravimetric data in conjunction with soil water characteristic data.

Soil water flux in the 90-120 cm layer was always downward for treatments A, B and C and water flowing through this layer was considered lost to drainage. Treatment D manifested an upward flux, reaching a maximum upward of 0,11 cm/day. During the 314-days study period, 32,8; 25,1; 17,6 and 12,3 cm of water were lost to drainage for treatments A, B, C and D, respectively. Drainage was greatest for treatment A which in average received irrigation every 16 days.

Cumulative actual evapotranspiration was estimated weekly based on soil water content data obtained by gravimetric method. Measured cumulative evapotranspiration for the period in study were 131,62; 130,37; 131,61 and 125,21 cm of water for treatments A, B, C and D, respectively. Cumulative measured evapotranspiration was compared with cumulative evapotranspiration (Hargreaves), cumulative potential evapotranspiration (Garcia-Lopez) and pan evaporation. Coefficients to transform pan evaporation to measured evapotranspiration varied from 0,39 to 0,88 depending on the growth stage of the crop.

The greatest Elephant grass yields were obtained with treatment A. Although this treatment gave the highest yield it was not necessarily the more efficient in the water use, due to the great losses of water to drainage.

I N D I C E

			Página
CAPÍTULO	I	INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO	II	REVISÃO DE LITERATURA	
		BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO	
		A - EQUAÇÃO DO BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO	4
		B - CONSIDERAÇÕES GERAIS	6
		C - MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS	8
		1 - Precipitação e Irrigação	8
		2 - Escoamento Superficial	10
		3 - Drenagem e Evapotranspiração	11
		4 - Variação da água no solo e no conteúdo de água na planta	21
		D - FONTES DE ERROS NO BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO	23
CAPÍTULO	III	MATERIAIS E MÉTODOS	
		1 - LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	27

	Página
2 - CARACTERÍSTICAS DO SOLO	28
3 - PRÁTICAS CULTURAIS	30
4 - TRATAMENTOS	31
5 - O BALANÇO DE ÁGUA	33
6 - DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DO BALANÇO DE ÁGUA	34
6.1 - Precipitação	34
6.2 - Irrigação	35
6.3 - Escoamento Superficial	35
6.4 - Drenagem	36
6.5 - Evapotranspiração	38
6.6 - Variações da Umidade do Solo e Conteúdo de Água na Planta	39
CAPÍTULO IV RESULTADOS E DISCUSSÃO	
CAPÍTULO V CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	56
BIBLIOGRAFIA	59
APÊNDICE	66

CAPÍTULO I

I N T R O D U Ç Ã O

Todo organismo vivo necessita de água para sua sobrevivência, porque é um dos principais componentes nos processos físicos, químicos e biológicos que se realizam dentro deste. A água na planta, influencia diretamente o seu crescimento, produção e qualidade do produto; além de poder dominar outros fatores como seleção das culturas, época e densidade de plantio, operações de cultivo, medidas de controle e ervas daninhas, melhoramento dos solos e programas de irrigação e fertilização.

A planta em crescimento, transpira uma grande quantidade de água, que é extraída do solo. A necessidade de água pelas plantas é maior nas regiões quentes e secas, onde

a demanda evaporativa da atmosfera é maior. O aumento excessivo da transpiração, aumenta a depleção do conteúdo de água disponível no solo. Neste caso, a eficiência do uso da água toma um fator primordial no sistema solo-água, principalmente nos climas áridos e semi-áridos, onde é denotada sua escassez.

Em solos bem drenados, com baixa capacidade de retenção de água, como aqueles de textura arenosa, poderá se observar uma baixa produção das culturas ocasionada pelo baixo nível de água nos solos. Entretanto, o excesso de água, acima da necessidade requerida pelas plantas, poderá percolar e lixiviar os solutos móveis além da zona radicular, ocasionando perdas na fertilidade do solo e uma possível contaminação nas águas subterrâneas. Um excesso de água de percolação pode provocar aumento na altura do lençol de água que, como consequência, resulta acúmulo de sais nos perfis dos solos, trazendo como efeito negativo, variações nas suas estruturas e redução da taxa de infiltração.

Por intermédio do balanço de água no solo, é possível determinar-se o período no qual a cultura, dentro do seu ciclo natural, necessita de irrigação e, ainda mais, quantificar tal necessidade, avaliando a deficiência pluviométrica a respeito da exigência de água na cultura. Este balanço é de vital importância para o manejo do sistema solo-água, principalmente no Nordeste do Brasil, onde este aspecto é um dos fatores limitantes na produção agrícola.

O presente estudo pretende avaliar o balanço de água em Capim Elefante irrigado com quatro regimes de aplicação de água, num latossolo da região do sub-médio São Francisco. Tem como objetivo principal, a maximização da eficiência do uso da água, implicando diretamente no manejo racional do sistema solo-água-planta, procurando deste modo, elevar o rendimento líquido da cultura pelo uso adequado da irrigação, fertilizantes e outros fatores que afetam os rendimentos.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO

O balanço de água no solo é uma exposição detalhada de todas entradas, saídas e variações da água ocorrida num dado solo, dentro de um limite geométrico definido e durante um intervalo de tempo específico (Edwards, 1969; Hillel, 1972; Baver et alii, 1972).

A - EQUAÇÃO DO BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO

O balanço de água para um solo agrícola, foi

estabelecido pela seguinte equação (Rouse, 1970; Hillel, 1971; Marshall, 1972; Hillel, 1972; Baver et alii, 1972; Carvallo et alii, 1975):

$$(P + I) - (R + E + T + D) = \Delta s + \Delta v \quad (0)$$

Entradas - Saídas = Variações do armazenamento de água no solo e no vegetal.

Onde P é precipitação (incluindo orvalho e geada); I é aplicação de água por irrigação; R é escoamento superficial; E é evaporação do solo; T é transpiração através do vegetal; D é drenagem abaixo da zona radicular ou percolação profunda; Δs é a variação do conteúdo de água no solo e Δv é a variação do conteúdo de água na planta.

Estes parâmetros são geralmente expressos em termos de volume de água por unidade de área de solo, isto é, na unidade de altura ou profundidade de coluna de água (Hillel, 1972). Dependendo da precisão com que se obtenha os parâmetros do balanço, pode-se ter uma boa estimativa do comportamento da água no solo. A drenagem abaixo da zona radicular (D) e a variação do conteúdo de água no perfil do solo (Δs) podem ser positivas ou negativas. A drenagem negativa ocorrerá no caso do fluxo de água ascendente. Esta situação é comum na presença de um lençol de água pouco profundo. A variação do conteúdo de água no solo é negativa quando se verifica perda de água por

drenagem e/ou evapotranspiração sem nenhuma aplicação de água ou chuva. Todos os outros parâmetros na equação, são positivos (Baver et alii, 1972).

B - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Torna-se necessário especificar o limite geométrico do sistema em estudo, para se determinar o balanço de água no solo. Sob o ponto de vista agrícola ou ecológico, parece ser mais coerente considerar este limite como a região onde a planta se desenvolve, isto é, a região entre o topo da planta até a profundidade da zona radicular (Hillel, 1971, 1972). Sendo praticamente impossível especificar este limite para uma população de plantas menos densa (heterogênea lateralmente) e variável em sua extensão, considera-se, para efeito do balanço de água no solo, que aquela população é um sistema estável e homogêneo. Assim sendo, Hillel (1972) indica que todas as relações descritas, são válidas, em princípio, tanto para sistemas providos de limites geométricos definidos, quanto para aqueles de diferentes configurações.

Deve ser considerado, também, o período ou intervalo de tempo para o qual o balanço é feito. Períodos cur -

tos poderão ser impraticáveis, embora sejam mais exatos. Períodos longos poderão mascarar a ocorrência de estágios críticos curtos da cultura. Para cada estágio crítico como floração e formação de frutos, um desequilíbrio, mesmo constante, no sistema solo-água, poderá ocasionar um efeito prolongado na planta (Hillel, 1972).

Como o solo pode reter água de 6 a 7 dias para suprir as plantas, é possível fazer um balanço por um grande período ou em base semanal, somando o uso da água de dias isolados ou usando dados semanais. A análise de dados diários, quando possível, poderá dar resultados vantajosos na aplicação de irrigação. Por outro lado, a média dos dados anuais oferecem uma adequada idéia da precipitação e evapotranspiração conseqüentemente, das necessidades de irrigação. No entanto, este balanço não indica as necessidades de água durante o período de crescimento da cultura ou variação do uso da água durante o mesmo período. O uso de dados mensais não envolve cálculos trabalhosos e podem ser ajustados dentro do padrão de crescimento estacional da cultura (Wiesner, 1970). Um balanço de água com intervalos de uma semana permitirá individualizar períodos de seca de uma, duas ou três semanas, que em ocasiões afetam sensivelmente o rendimento das culturas, especialmente quando se tratar de culturas anuais com raízes superficiais (Grassi, 1968).

Outro aspecto importante a ser considerado, é a possível variação nos resultados do balanço de água, como consequência das variações na precipitação em diferentes anos, sendo de grande importância nos climas úmidos, devido o balanço de energia depender do regime de precipitação. Em áreas do trópico com clima de savana, caracterizado pela presença de um período seco e outro chuvoso, observa-se um comportamento oposto entre estes dois períodos, ao se comparar o regime de evaporação e o regime das chuvas. Do exposto, surge que, as variações na precipitação, tem um grande significado no balanço de água. Grassi (1968), indica que há conveniência de repetir o balanço de água para períodos de 3 a 5 anos, reconhecidos na série de registros como períodos de anos secos e de anos úmidos.

C - MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS

1 - Precipitação e Irrigação: É relativamente fácil determinar a quantidade de água adicionada ao solo pela precipitação e/ou irrigação, muito embora seja necessário considerar a não uniformidade desses parâmetros (Hillel, 1972). A quantidade de chuva é determinada por meio de pluviômetros e pluviógrafos, colocados em pontos previamente escolhidos. Os

pluviômetros funcionam como simples receptáculos da água precipitada, enquanto que os pluviôgrafos registram continuamente os valores da chuva no decorrer do tempo (Pinto et alii, 1973). Dentre esses aparelhos, o pluviôgrafo de peso é geralmente o mais utilizado. Ele registra continuamente num gráfico a precipitação, diretamente em mm de chuva (Carvallo et alii, 1975). Gilman (1964), Chang (1968) e Rodda (1970) afirmam que tanto o pluviômetro quanto o pluviôgrafo não são perfeitos para se determinar a precipitação, pois a própria presença desses aparelhos pode perturbar os ventos e, então, interferir na queda livre das gotas de chuva, principalmente se eles estiverem elevados. Também, os pluviôgrafos de peso podem dar resultados incorretos, provenientes do aumento de peso resultante dos salpicos das gotas de chuva.

O emprego eficaz da água de irrigação e uma operação eficiente do sistema, depende em grande parte, da medição e controle do fluxo de água. Existem um grande número de medidores de fluxo de água empregados para este fim (Israelsen e Hansen, 1965; Robinson e Humpherys, 1967; Zimmerman, 1969; Thorne e Peterson, 1969). Zimmerman (1969) afirma que estes aparelhos, usados para medir a água de irrigação, devem ser fáceis de ler, de baixo custo, fáceis de instalar, eficientes hidráulicamente, precisos e duráveis. As unidades de medidas usadas para o fluxo de água, são; litro por minuto, metro cúbico

por segundo, centímetro-hectare por hora, metro-hectare por dia (Israelsen e Hansen 1965). Robinson e Humpherys (1967) descrevem algumas das mais utilizadas estruturas e métodos usados para medir e controlar a água de irrigação em canais e sistemas fechados.

2 - escoamento superficial: É definido como a água removida através de uma dada área pelo fluxo superficial. O grau de inclinação e comprimento da rampa, cobertura da superfície, taxa de infiltração e estrutura do solo são fatores relevantes que afetam o escoamento superficial. A quantidade de escoamento depende sobretudo da intensidade e duração da chuva e da natureza da superfície do solo (Chow, 1964; Wiesner, 1970). Em áreas agrícolas cultivadas, relativamente planas e com alta capacidade de infiltração, a quantidade de escoamento superficial, mesmo sendo grande a intensidade de chuva, é geralmente mínima e pode ser considerada desprezível na equação do balanço de água (Rose e Stern, 1965; Rouse, 1970; Wiesner, 1970; Hillel, 1972). Contudo, quando o escoamento superficial é apreciável, torna-se extremamente difícil quantificá-lo (Hillel, 1972). Chow (1964) descreve as relações existentes entre a chuva e o escoamento superficial, utilizando alguns dos fatores que afetam este escoamento como parâmetros. Alguns cientistas, usando a temperatura média anual como parâmetro, por exemplo, mostraram uma relação satisfatória entre a precipitação

média anual e o escoamento superficial. Shaw (1963, 1964) tentando estimar o escoamento superficial da água no solo com milho e pastagem, nos EUA, descreveu um método para medir este, usando um índice antecedente de precipitação (c.f. Carvallo et alii, 1975).

3 - Drenagem e Evapotranspiração: o maior problema na utilização da equação do balanço de água é que não há uma maneira conveniente para se determinar a drenagem abaixo da zona radicular das plantas, quando a evapotranspiração é desconhecida e o solo não está saturado. Devido a isto é que alguns físicos do solo tem considerado que esta drenagem é desprezível (Wilcox, 1960; Hillel, 1972). Tal afirmativa era justificada com base no conceito de "capacidade de campo", que tem sido definida como o conteúdo de água de um perfil de solo, inicialmente saturado, após 24 ou 48 horas. Assim, considera-se que a subsequente drenagem vertical, após aquele tempo, "virtualmente cessava" ou tornava-se desprezivelmente pequena. Portanto, se uma irrigação fosse feita com o simples propósito de preencher a deficiência de água de um solo até a "capacidade de campo", não se teria uma essencial drenagem (Hillel, 1972). Gardner et alii (1970) e Baver et alii (1972) afirmaram que o processo de drenagem, após uma irrigação, ocorre por muito dias, mesmo em taxa reduzida gradualmente com o tempo. Logo, uma simples definição de "capacidade de campo", dependendo das

condições de retenção de água do solo, não é possível. Hillel e Guron (1970), afirmam que o processo de percolação pode ser bi-direcional e que a drenagem pode constituir 20% ou mais do balanço de água no solo. Eles indicaram que, ao contrário de ser considerada desprezível, o processo de drenagem deve ser determinado e controlado, se se deseja aumentar a eficiência do manejo da água (c.f. Carvallo et alii, 1975). Rouse (1970) em experimentos realizados no Canadá, notou que a evapotranspiração real média excedia a evapotranspiração potencial estimada pelos métodos de Penman e Thornthwaite, em 3 dos 6 intervalos de determinações, devido a perda por percolação profunda.

Gardnier (1956), Rouse (1970) e Nielsen et alii (1972) afirmaram que a Lei de Darcy tem sido usada para descrever a drenagem em um solo não saturado, considerando que a condutividade não seja constante, mas como uma função do conteúdo de água do solo ou potencial mátrico. Rouse (1970) indica que o fluxo subsuperficial de água em solos não saturados, é obtido pela seguinte equação:

$$q = - K \nabla H \quad (1)$$

Onde, q é o fluxo volumétrico, ∇H é o potencial de água ou gradiente hidráulico e K é a condutividade hidráulica. Para o fluxo não saturado na direção vertical, a equação (1), torna-se:

$$q_z = -K_z \frac{\partial \Psi}{\partial z} \quad (2)$$

Onde, z é a profundidade do perfil e K_z é a condutividade hidráulica como uma função da umidade em z . Considerando que o potencial de água (Ψ) inclui os componentes da sucção mátrica (Ψ_m) e o componente gravitacional (Ψ_z), isto é:

$$\Psi = - (\Psi_m - \Psi_z) \quad (3)$$

combinando-se as equações (2) e (3) e diferenciando, tem-se:

$$q_z = K_z \frac{\partial \Psi_z}{\partial z} + K_z \quad (4)$$

Segundo Hillel (1972), o método utilizado para determinar o movimento de água nos solos, foi denominado por Watson de "método do perfil instantâneo". Este método requer medições frequentes (preferivelmente contínuas) e simultâneas da umidade e da sucção mátrica dos perfis do solo, somente sob condições de drenagem. Para estas determinações, é possível obter valores instantâneos do gradiente de potencial e o efeito produzido pelo fluxo dentro do perfil e, conseqüentemente, valores da condutividade hidráulica. Uma vez que a condutividade hidráulica em função do conteúdo de água, para cada profundidade do perfil do solo, é conhecida, os dados podem ser aplicados em análises de drenagem e evapotranspiração em um solo vegetado. Em certos casos, os solos do campo são de algum grau anisotrópico hidráulicamente. Considerando-se que o solo seja horizontalmente estratificado e assumindo-se a direção descendente vertical, como aquela do eixo dos z , a drenagem pode ser

expressa pela equação:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) \quad (5)$$

Onde, θ é a umidade em termos de volume, t o tempo, z a coordenada da profundidade vertical, considerada como positiva, K_z a condutividade hidráulica função da umidade do solo em z e Ψ o potencial de água (determinado mediante tensiômetros). Stone et alii (1973) demonstraram a utilidade dos tensiômetros para avaliar o padrão de perda de água devido drenagem e evapotranspiração em um campo com sorgo irrigado. A distribuição da tensão de água no solo, obtida diretamente através de tensiômetros colocados em várias profundidades do perfil do solo, juntamente com as características deste perfil, quando usada para obter a distribuição do conteúdo de água, torna-se necessária para o cálculo do fluxo pela equação de Darcy. Este fluxo, associado com o gradiente hidráulico, permite calcular o valor da condutividade hidráulica do perfil do solo. Medições da condutividade e dados do conteúdo de água do solo são as principais determinações para soluções da equação do fluxo, prognosticando a drenagem, distribuição e redistribuição de água no solo.

A evapotranspiração (ET) é o efeito combinado dos termos evaporação (água evaporada pelo solo adjacente, pela superfície de água ou pela superfície da folha da planta) e

transpiração (água que, penetrando através das raízes das plantas, é emitida pelas folhas e reintegrada na atmosfera). A água depositada pelo orvalho, chuva ou irrigação e que se evapora sem ser utilizada pelo sistema da planta, formam parte da água evapotranspirada (Israelsen e Hansen, 1965).

Existem vários métodos para determinar a evapotranspiração. Estes métodos podem ser divididos em 3 categorias principais: (a) métodos do balanço de água, (b) métodos micrometeorológicos e (c) métodos empíricos (Tanner, 1967).

(a) Métodos do balanço de água: Estes métodos não controlam as variáveis ou ajustam as condições limites fazendo as variáveis constantes. Dependem exclusivamente de determinações exatas dos parâmetros e da interpretação dos resultados obtidos (Hardee, 1971). A equação dos métodos de balanço de água é utilizada para determinar a evapotranspiração nos métodos de bacias hidrológicas, método de depleção da água e método dos lisímetros.

O método do balanço de água para determinar a evapotranspiração em bacias hidrológicas é aplicado em grandes áreas e é baseado na comparação entre a quantidade de água que entra numa bacia hidrológica conhecida, com registros de precipitação para mesma área, num período de tempo específico. A diferença entre aqueles dois parâmetros e a quantidade de fluxo que sai da referida bacia, ajustados com a variação do armaze-

namento de água no solo, durante o período considerado, será uma medida da perda por evapotranspiração (Viehmeier, 1964 ; Pair et alii, 1969).

Stone et alii (1973) determinaram a taxa de evapotranspiração diária pela subtração do fluxo de água para uma profundidade de 150cm da depleção total de água no solo, num perfil de 0 a 150cm. A depleção total de água é determinada pela integração das diferenças entre consecutivos conteúdos diários de água no perfil do solo. A taxa de evapotranspiração real é dada pela relação:

$$\frac{dEt}{dt} = \left(\frac{dW}{dt} \right)_{Z_r} - \left(K \frac{\partial H}{\partial z} \right)_{Z_r} \quad (6)$$

O primeiro termo da direita da equação (6) é a taxa de diminuição ou aumento total do conteúdo de água no solo na zona radicular (para a profundidade Z_r) por unidade de tempo e o segundo termo é a drenagem abaixo da zona radicular. Na prática, esses cálculos seriam feitos num período de tempo infinito, logo, com mais razão, médias de valores instantâneos do gradiente, fluxo e condutividade hidráulica devem ser usados algumas vezes. Quando o gradiente hidráulico, abaixo da zona radicular é unitário, a equação (6) torna-se:

$$\frac{dEt}{dt} = \left(\frac{dW}{dt} \right)_{Z_r} - K_{Z_r} \quad (7)$$

Na equação (7), K_{Zr} é a condutividade hidráulica dominante para a profundidade Z_r e uma função do conteúdo de água naquela profundidade (Hillel, 1972). Valores obtidos por esta metodologia foram comparados com valores obtidos em lisímetros, encontrando uma razoável semelhança (van Bavel et alii, 1968).

Hillel (1972) indica que as principais limitações do método descrito, estão na dificuldade de executá-lo e interpretá-lo, quando o solo é heterogêneo, tanto vertical quanto horizontalmente (neste caso, quando o componente do fluxo lateral é apreciável). Apesar destas limitações, ele afirma que o método é bastante prático e, desde que este método é baseado em medições reais no perfil do solo in situ, ele é muito mais utilizado do que aqueles métodos fundamentados em testes de laboratório ou em parâmetros meteorológicos.

Os lisímetros são tanques com solos nos quais as plantas são cultivadas para determinar a quantidade de água consumida. Os dados de evapotranspiração obtidos através dos lisímetros serão dignos de confiança, dependendo de como os mesmos foram construídos, instalados e operados ou então, de igual modo, ser representativo de áreas para as quais os resultados serão aplicados (Pair et alii, 1969). Os lisímetros usados com o propósito de determinar a evapotranspiração, têm a desvantagem de ser muito pesados e caros e, desde que eles não

representam as condições naturais de campo, geralmente não são muito recomendados para serem utilizados na prática (Hillel , 1972).

(b) Métodos micrometeorológicos: Nesta categoria, os métodos geralmente mais empregados, são o método do balanço aerodinâmico ou transferência de massa, o método do balanço de energia e as combinações entre os dois métodos anteriores.

O método aerodinâmico ou transferência de massa, determina a evapotranspiração pelas equações modificadas de Dacon-Swinbank e de Dalton, e consiste em determinar diretamente ou indiretamente o transporte de vapor a uma dada distância (Tanner, 1967). Como a determinação direta envolve o emprego de aparelhagem dispendiosa e difícil de se realizar, é mais comum o cálculo indireto do fluxo de vapor, através da medição dos gradientes de umidade na atmosfera. Este método não leva em consideração o possível incremento da advecção para a evapotranspiração (Hillel, 1971).

O balanço de energia tem sido utilizado com grande êxito para períodos de uma hora ou mais. O procedimento geral é determinar a radiação líquida, o calor desprendido ou absorvido pelo solo e a razão Bowen - relação entre o calor sensível da atmosfera e a absorção de energia na evapotranspi-
ração (Pair et alii, 1969; Hillel, 1971). Considera-se que a

energia recebida por uma superfície através da radiação é igual a energia utilizada para aquecer o ar e o solo mais alguma outra energia extrínseca ou advectiva (Viehmeyer, 1964; Tanner, 1967).

O balanço de energia e, em alguns casos, de de terminações de transferência de massa tornam-se métodos fide- dignos e exatos para determinar a evapotranspiração diariamente, em estudos experimentais. Contudo, o custo, a perícia técnica e o processamento dos dados, impedem efetivamente, o uso dessas técnicas em base diária contínua (Jensen, 1972).

Várias combinações foram feitas entre os dois métodos, as quais consistem em calcular alguns componentes do método do balanço de energia por métodos aerodinâmicos. As equações obtidas destas combinações, são derivadas considerando certas suposições descritas por Tanner (1967). Pardo (1968) fez estudos sobre as combinações dos métodos descritos e relata que o maior obstáculo desses métodos é a necessidade de ins trumentos altamente precisos para coletar os dados utilizados, os quais nem sempre são medidos (c.f. Hardee, 1971).

(c) Métodos empíricos: várias fórmulas, relacionadas com as medições das variáveis climáticas, foram desen- volvidas para determinar a evapotranspiração potencial em áreas onde a medição da evapotranspiração real ainda não é possível de ser feita. As variáveis mais utilizadas são a radiação, tem

peratura, umidade, velocidade do vento e evaporação. São propostas várias fórmulas (Blaney-Criddle, Thornthwaite, Penman, Jensen-Haise, Turc, Garcia-Lopez, Hargreaves, etc.) que, em função dos fatores climáticos fundamentais, fornecem eventualmente o valor da evapotranspiração potencial, desvinculando deste modo, da eventualidade da natureza do solo, da espécie vegetal e do período vegetativo da cultura, relacionando apenas a evapotranspiração com os fatores ambientais (Lauciani, 1970).

Shaw (1969), nos EUA, afirma que a exatidão dos métodos de Blaney-Criddle, Thornthwaite e Penman foi testada com a evaporação em reservatórios e em tanques abertos. Os métodos de Thornthwaite e Penman foram testados também, em um solo coberto de pastagens. Tanto o método de Thornthwaite quanto o de Blaney-Criddle, proporcionaram uma aproximação simples para estimar a evapotranspiração, mas reduzem consideravelmente a exatidão, quando são usados em períodos curtos de observações. O método de Penman requer uma grande quantidade de dados, os quais nem sempre estão disponíveis nas estações climáticas e é limitado o seu uso, onde o efeito da advecção for apreciável (c. f. Carvallo et alii, 1975). Hargreaves em 1974 desenvolveu uma metodologia que requer um mínimo de dados, fáceis de serem encontrados nas estações climáticas e de serem calculados, apresentando um ajuste relativo com as medições da eva-

potranspiração feitas em lisímetros em uma grande variedade de condições climáticas, inclusive para o Nordeste do Brasil.

4 - Variações da água do solo e no conteúdo de água na Planta: Kohnke (1968) afirma que existem, fundamentalmente, dois princípios básicos para determinar o armazenamento de água no solo e sua variação no perfil deste: (a) Medindo a quantidade de água numa dada quantidade de solo e (b) medindo o esforço ou tensão com que esta água está retida no solo. Pelo primeiro princípio básico, são incluídos os métodos de determinação do conteúdo de água do solo, tais como: o gravimétrico, dispersão de neutrons, atenuação de raios gama e outros. Pelo segundo princípio, existem uma variedade de métodos que podem ser usados para determinar a tensão de umidade no solo ; Entre estes, tem-se os tensiômetros, mesa de tensão, equipamentos de pressão (prato e membrana), psicrômetros, depressão do ponto de congelamento e centrífugas (c. f. Carvallo et alii , 1975). Holmes et alii (1967), por outro lado, afirmam que existe outro método, calibrado para determinar tanto o conteúdo de água do solo, quanto a tensão, quais sejam: o bloco de resistência elétrica (Bouyoucos), capacitância elétrica, condutância térmica, penetrômetro e absorvedor poroso.

Segundo Holmes et alii (1967), o método gravimétrico é recomendado para determinar o conteúdo de água em amostras infrequentes de solos uniformes, com textura média. Não

é recomendado, entretanto o mesmo, para solos com rochas ou pedregulhos e quando as amostragens forem frequentes, por levar muito tempo e destruir o solo. Sua principal vantagem é ser um método simples e de baixo custo.

O método de dispersão de neutrons mede a água do solo diretamente em base de volume e as amostragens no campo podem ser numerosas, tornando-se maior a representação da massa do solo e, com isto, minimizando o erro de amostragem (com repetições das leituras feitas no mesmo local); e não é destrutivo para o campo experimental pelo uso constante de retiradas de amostras do solo, sendo a principal vantagem sobre o tradicional método gravimétrico (Holmes et alii, 1967). Por outro lado, o método da sonda de neutrons proporciona uma resposta imediata da água do solo, evitando assim, a necessidade de transportar amostras de solos para o laboratório (Hillel, 1972). Este método é limitado para solos rasos, solos orgânicos, rochosos ou com pedregulhos, laminados e para determinar o conteúdo de água em pequenas profundidades. Apresenta como desvantagens o fato de necessitar de calibração toda vez que se usar em um campo e de não poder determinar o verdadeiro conteúdo de água a uma profundidade específica (Holmes et alii, 1967).

Ligon (1968) informa que o método de atenuação de raios gama é considerado de grande potencial para uma

precisa determinação do conteúdo de água do solo. Apesar de apresentar algumas vantagens sobre o método da sonda de neutrons, como determinar a água do solo em profundidade de aproximadamente 1cm na vertical e próximo a superfície do solo, apresenta problemas quanto à utilização no campo.

Embora não seja sempre justificável, a variação do conteúdo de água na planta é geralmente desprezível, considerando-se que esta variação é muito pequena em relação a água armazenada no solo (Hillel, 1972). Em alguns casos, o nível interno da água na planta, pode ser obtido por diferentes técnicas, existindo porém 4 tipos principais determinações de maior importância. Estas são: medições do conteúdo de água dos tecidos, potencial de água dos tecidos, pressão osmótica vacuolar, abertura dos estômatos e transpiração (Slatyer e Shmueli, 1967). Haise e Hagan (1967), descrevem vários métodos e técnicas usadas na determinação da água armazenada na planta.

D - FONTES DE ERROS NO BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO

Em princípio, uma simples equação pode ser resolvida caso se desconheça uma das variáveis, isto é, quando todos os termos da equação são conhecidos ou podem ser determi

nados, menos um deles. Quando se usa tal equação, se cada determinação das variáveis envolve um erro apreciável, estes podem acumular-se, fazendo com que os resultados sejam grosseiramente inexatos. O erro relativo pode tornar-se especialmente grande, nos casos onde a diferença é pesquisada entre quantidades quase iguais, cada uma com apreciável margem de erros (Hillel, 1971, 1972). Na prática, é possível medir a precipitação (P) e irrigação (I) no campo, com adequada precisão. O escoamento superficial (R) pode ser obtido por meios indiretos, utilizando fatores que afetam o escoamento. O perfil do conteúdo de água e sua variação podem ser determinados corretamente. Por outro lado, medições diretas da Evapotranspiração (ET) e Drenagem (D), são geralmente difíceis e imprecisas. Estas dificuldades podem e comumente conduzem a conclusões errôneas concernentes a evapotranspiração e drenagem, porque a ET é determinada, na equação do balanço, por diferença, quando se conhece a drenagem ou vice-versa (Baver et alii, 1972).

Segundo Edwards (1969) foi feita a padronização das fontes de erros observacionais, dividindo-os em dois tipos distintos: os erros acidentais e os sistemáticos. Os erros acidentais podem ser quantificados por técnicas estatísticas padronizadas. Suas magnitudes podem ser quantificadas e quando não forem aceitos, podem ser reduzidos, usando-se diferentes tipos de métodos de observação. A replicação dos instru

mentos, repetições das observações ou a diminuição do tempo de amostragem, podem frequentemente revelá-los e passos corretos devem ser tomados para se obter uma ótima condição nas medições. Os erros sistemáticos, contudo, não são fáceis de ser detectados e identificados. Quando encontrados, estes erros podem apenas ser transformados em erros ao acaso ou acidental (usando-se por exemplo, correções baseadas numa técnica de regressão). Somente em certas circunstâncias, quando eles são muito pequenos, podem ser negligenciados. Estes erros aparecem na precipitação através da observação particular ou instrumental; podem ser detectados através de comparações com mapas isoeitais ou por uma análise de resultados de longos anos. Rodda (1969) afirma que estes erros surgem através da exposição dos pluviômetros ou pluviógrafos, tornando-se mais difíceis de ser detectados e, por esta razão, estes aparelhos foram testados ao nível do solo, sendo preferível, pois, são menos susceptíveis à exposição arbitrárias. Para o escoamento superficial, os erros podem ser originados por diversas causas e são os mais sérios. Isto pode ser minimizado pelo manejo cuidadoso das estruturas usadas para determinar aquele escoamento. Os tanques de evaporação podem fornecer dados que estão sujeitos a grandes erros, notadamente quando estes dados foram coletados em dias de chuva ou quando a água do tanque estiver congelada, conseqüentemente, originando erros na estimativa da evapotranspiração potencial (Richardson e Ritchie, 1973). Por outro lado, os tanques de

evaporação, lisímetros de drenagem e evaporímetros estão também sujeitos a uma grande quantidade de erros observacionais e, em particular, o "efeito oásis". O lisímetro hidráulico de pesagem está menos susceptível ao "efeito oásis" mas, como os outros aparelhos, apresenta a desvantagem de produzir determinações em um único ponto, as quais não podem ser extrapoladas para uma outra área e, sua replicação torna-se muito dispendiosa (Edwards, 1969).

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

1 - LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O Experimento foi desenvolvido no Campo 2 da Estação Experimental do Projeto de Irrigação de Bebedouro, situado a 40 Km, a leste, da cidade de Petrolina, estado de Pernambuco. A Estação Experimental geograficamente fica localizada a 9923' de latitude sul e 40930' de longitude a oeste de Greenwich, com uma altitude de 376 metros acima do nível do mar (Hargreaves, 1973).

O clima da região é classificado, segundo Koppen (1948), como estêpico; quente, com temperaturas médias de

23°C a 28°C, sendo Junho e Julho os meses mais frios e outubro e novembro os meses mais quentes do ano. A precipitação média anual, com base em 56 anos de dados, é 400 mm (Hargreaves, 1973). De acordo com a publicação da FAO/PNUD (1971), a umidade relativa média é 67,8%.

2 - CARACTERÍSTICAS DO SOLO

O experimento foi conduzido no solo da série Latossólica, unidade de mapeamento 37AB (FAO/PNUD, 1971). Os latossolos são solos profundos de cor amarelo-avermelhado de superfície arenosa, mudando gradualmente para barro arenoso ou barro argilo-arenoso, leve, poroso e friável. Muito ácido abaixo da superfície. Mosqueado proeminente avermelhado. Ausência de cimentação dentre os primeiros 150cm. A topografia dominante na área destes solos, varia de plana a suavemente ondulada, com declives geralmente de 2% a 5% (Verçosa, 1972). As características morfológicas do perfil e algumas características físico-hídricas do solo, são apresentadas nas Tabelas 1 e 2 no Apêndice, respectivamente. A análise físico-mecânica do solo, em incrementos de 30cm, até 150 cm de profundidade, foi feita através do método da pipeta (Day, 1965). A "capacidade de campo" foi determinada in situ, saturando o solo em condições naturais

atê uma profundidade específica e cobrindo-o com material plástico; em seguida, determinou-se o conteúdo de água pelo método gravimétrico, com amostras coletadas continuamente. Quando a água deste solo mantinha-se constante durante 2 ou 3 determinações consecutivas, considerava-se que o solo estava na "capacidade de campo". O ponto de murchamento foi determinado mediante membranas porosas, submetendo-se as amostras de solo a uma pressão positiva de 15 atmosferas. A densidade aparente foi determinada através de cilindros metálicos, com diâmetro de 7,8 cm e 10 cm de altura.

Em geral, as caracterísitcas químicas destes solos são variáveis entre horizontes e, mesmo, no próprio horizonte. A soma das bases permutáveis (S), no horizonte A, varia de 1,26 a 4,22 meq/100g de solo e, no B, de 1,22 a 4,12 meq/100g de solo, sendo interessante observar que os valores maiores raramente ocorrem e, para ambos horizontes, situam-se em geral na faixa de 1,5 a 2,5 meq/100g de solo. A soma de cãtions trocáveis (T), no horizonte A, varia entre 2,44 a 4,39 meq/100 g de solo e no B, entre 2,26 a 5,59 meq/100g de solo. A percentagem de saturação de bases apresenta uma amplitude de variação bastante significativa, indo de 33,0 a 100,0%, no horizonte A e de 43,0 a 91,0%, no horizonte B (Verçosa, 1972).

3 - PRÁTICAS CULTURAIS

O solo foi arado profundamente, gradeado e sistematizado. Realizou-se uma elevação dos bordos entre as parcelas e em volta da área. A área foi nivelada manualmente, com a finalidade de eliminar pequenas depressões e elevações. Feitas estas operações, foram construídos os canais laterais de irrigação e os bordos transversais.

A cultura utilizada no experimento foi o Capim Elefante (Pennisetum purpureum Schumach), por ter mostrado potencialmente produtivo (em relação à produção por corte) de proteína bruta e nutrientes totais digestivos, sendo melhor do que qualquer capim tropical, segundo observações de experimentos em diversos países tropicais (Watkins, 1951; Grof, 1958 ; Vicente-Chandler, 1964). O plantio obedeceu a um padrão triangular, com 60 cm entre plantas e 60cm entre fileiras. O material utilizado no plantio foi estacas de capim maduro, obtidas na própria Estação Experimental.

Todas as parcelas foram adubadas com 200Kg/ha por ano de P_2O_5 (superfosfato triplo - 43% de P_2O_5) e 75 Kg/ha por ano de K_2O (cloreto de potássio - 61% de K_2O), para que as produções não fossem limitadas por outros fatores a não ser a

água e o nitrogênio. A adubação nitrogenada foi feita parceladamente, após cada corte, com sulfato de amônia (20% de N).

Inicialmente, todo experimento foi irrigado, sem se considerar o tratamento de água, até o primeiro corte, que foi feito com o objetivo de estabelecer o cultivo e torná-lo mais uniforme. A partir deste corte, efetuou-se o controle de umidade em cada parcela, em intervalos de tempos variáveis. O controle diário de umidade iniciou-se a partir do mês de janeiro, próximo ao terceiro corte. O método de irrigação utilizado neste experimento foi o de bacias retangulares com bordos. Realizou-se um controle da "lagarta do capim", quando necessário, com Endrex (85% de 1, 2, 3, 4, 10, 10-hexacloro-6, 7 - epoxi-1, 4, 4a, 5, 6, 7, 8, 8a-octahidro-1, 4-endo, exo-5, 8-dimetano-naftaleno e 15% de compostos correlatos de ação inseticida). (Mariconi, 1963).

4 - TRATAMENTOS

O Balanço de água no solo foi determinado para quatro diferentes regimes de aplicação de água (médias dos níveis de nitrogênio). Cada parcela possuía 116,28 m² e a área útil de cada parcela foi de 5,76 m².

O delineamento estatístico adotado foi o de bloco ao acaso com 3 repetições. Os tratamentos usados com a variação de água do solo nos limites de água disponível, foram os seguintes:

- Tratamento A : A água era fornecida às parcelas quando o solo apresentava 60% de sua água disponível, isto é, quando 40% da água disponível era consumida pela cultura.
- Tratamento B : A água era fornecida às parcelas quando o solo apresentava 45% de sua água disponível, isto é, quando 55% da água disponível era consumida pela cultura.
- Tratamento C : A água era fornecida às parcelas quando o solo apresentava 30% de sua água disponível, isto é, quando 70% da água disponível era consumida pela cultura.
- Tratamento D : A água era fornecida às parcelas quando o solo apresentava 15% de sua água disponível, isto é, quando 85% da água disponível era consumida pela cultura.

Os cortes em todos os tratamentos, foram efetuados quando, no "tratamento A x nível 4", as plantas atingissem uma altura de 1,20m. Os colmos foram cortados de 10-15 cm do nível da superfície do solo. Foram efetuados, em média, 6

cortes anuais. As adubações nitrogenadas corresponderam a 225, 450, 675 Kg/ha por ano, para os níveis 2, 3 e 4, respectivamente. O nível 1 foi a testemunha, sem nitrogênio. Após cada corte e aplicação dos níveis de adubação nitrogenada, todo experimento era irrigado com os tratamentos de água correspondentes a cada parcela.

5 - O BALANÇO DE ÁGUA

O balanço de água no experimento foi determinado pela equação (Rouse, 1970; Hillel, 1971, Marshall, 1972; Hillel, 1972; Baver et alii, 1972; Carvallo et alii, 1975):

$$(P + I) - (R + E + T + D) = \Delta s + \Delta v \quad (0)$$

Entradas - Saídas = Variações do armazenamento de água no solo e no vegetal.

Onde P é precipitação; I é irrigação; R é escoamento superficial; E é evaporação do solo; T é transpiração através do vegetal; D é drenagem abaixo da zona radicular ou percolação profunda; Δs é variação do armazenamento de conteúdo de água no solo e Δv é variação do conteúdo de água na planta.

Os parâmetros desta equação, no experimento, foram expressos em cm de água. O limite geométrico considerado,

foi do topo da cultura até a profundidade, abaixo da superfície do solo, de 120 cm. Considerou-se que a população de plantas era um sistema homogêneo e estável, para cada intervalo de tempo em que o balanço foi realizado.

O intervalo de tempo utilizado nesta pesquisa, foi em base semanal, calculando e somando o uso da água diariamente. De acordo com Grassi (1968), intervalos de uma semana permitirão individualizar períodos de seca de uma, duas ou três semanas, indicando, deste modo, as necessidades de água durante o estágio de crescimento da cultura ou mesmo variações do uso da água durante o mesmo período.

Este balanço, iniciou-se no dia 22 de janeiro de 1968, quando houve o controle diário da água no solo, ao dia 30 de novembro de 1968, abrangendo, assim, do terceiro ao oitavo corte, que se verificaram nos dias 6-7 de janeiro ao dia 26 de novembro, respectivamente.

6 - DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DO BALANÇO DE ÁGUA

6.1 - PRECIPITAÇÃO:

A quantidade de água precipitada sob forma de

chuva, foi determinada mediante um pluviômetro existente na Estação Climatológica do próprio Campo Experimental, em Bebedouro. A Tabela 3 mostra a precipitação no período em que este estudo foi realizado.

6.2 - IRRIGAÇÃO:

A água foi conduzida para as parcelas, do canal de irrigação, mediante sifões com 3,8 cm de diâmetro e 140 cm de comprimento. O volume de água utilizado em cada tratamento, foi determinado em função da vazão dos sifões e do tempo de aplicação. Foram utilizados 8 sifões por bordos, em todos os tratamentos, com as dimensões citadas anteriormente. A Tabela 4 indica a data de aplicação e as quantidades de água aplicadas em cada tratamento.

6.3 - ESCOAMENTO SUPERFICIAL:

Considerando-se que o campo selecionado para o experimento, era completamente plano e que o método de irrigação utilizado foi de bacias retangulares, o escoamento superficial foi desprezível, no cálculo do balanço de água.

6.4 - DRENAGEM:

Este termo foi obtido usando a Lei de Darcy , que determina a taxa de fluxo através do limite da zona radicular e que é expressa pela equação:

$$D = K_{\theta} \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right)_{Z_r} \quad (2)$$

Onde, D é a drenagem abaixo da zona radicular (cm/hr); K_{θ} é condutividade hidráulica (função da umidade θ) em cm/hr; $\left(\frac{\partial H}{\partial z} \right)_{Z_r}$ é o gradiente hidráulico, operando através do plano Z_r .

Os métodos utilizados na determinação de cada termo da equação (2), são descritos no parágrafo seguinte:

Condutividade hidráulica: O valor da condutividade hidráulica (K_{θ}) foi determinada pelo método teórico de Green e Corey, descrito por Carvalho e Azevedo (1975), para o solo em condições de não saturação. A relação entre o potencial matricial da água no solo e o conteúdo de água no solo, conhecida como "Curva de Retenção de Água do Solo", foi determinada, para o solo em estudo, mediante a dessorção das amostras de solos desagregados, inicialmente saturados. Tal dessorção foi levada a efeito mediante a aplicação de pressões negativas e incremento, previamente selecionados. Para facilitar o cálculo

da condutividade, usou-se um programa, em linguagem Fortran IV, para computador IBM-360. Após o cálculo desta condutividade teórica, efetuou-se uma correção, utilizando como fator a relação K_u/K_{uc} , onde K_u é a condutividade hidráulica teórica do solo, em condições de saturação (determinada experimentalmente) e K_{uc} é a condutividade hidráulica calculada empiricamente. Este fator de correção, segundo vários pesquisadores, proporciona ótimas aproximações da condutividade hidráulica em condições de não saturação, quando usado para corrigir valores teóricos de K (Carvallo e Azevedo, 1975). A Fig. 1, mostra a curva de Condutividades Hidráulicas não saturadas, para a profundidade de 120 cm, em função da umidade do solo (cm^3/cm^3), onde o experimento foi conduzido.

Gradiente hidráulico: $(\frac{\partial H}{\partial z})_{z_r}$. O gradiente operando através do perfil do solo (Plano Z_r), foi obtido através de curvas de "Retenção de Água no Solo" (Fig. 2) para as profundidades de 0-30cm e 90-120cm, a partir dos valores do conteúdo diário de água, encontrando-se os valores correspondentes das cargas hidráulicas H (cm de água) para as duas profundidades. Pela razão existente entre a diferença das cargas hidráulicas (H), determinadas para as duas profundidades, e o intervalo de profundidade (0 - 120cm), tem-se, então, o valor do gradiente hidráulico.

O produto da condutividade hidráulica não sa-

turada pelo gradiente hidráulico, ambos os termos obtidos diariamente, tem-se o valor da drenagem diária ocorrida (Eq. 2).

6.5 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO:

A evapotranspiração foi determinada pelo método descrito por Hillel (1972) e Stone et alii (1973). A taxa de evapotranspiração diária foi calculada pela subtração do fluxo de água através da profundidade de 120 cm pela depleção total de água no solo para o intervalo de profundidade 0-120 cm. A taxa de evapotranspiração real foi obtida através da relação:

$$\frac{dEt}{dt} = \left(\frac{dW}{dt} \right)_{Z_r} - K_{\theta} \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right)_{Z_r} \quad (6)$$

Onde, $\left(\frac{dW}{dt} \right)_{Z_r}$ é a taxa de depleção do conteúdo de água na zona radicular (plano Z_r) por unidade de tempo e $K_{\theta} \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right)_{Z_r}$ é a taxa do fluxo abaixo da zona radicular (drenagem).

A evapotranspiração real, calculada pelo método descrito anteriormente, foi comparada a evapotranspiração real determinada empiricamente, mediante o uso da fórmula de Hargreaves e com a evapotranspiração potencial determinada empiricamente pela fórmula de Garcia-Lopez. Também, comparou-se os dados da evapotranspiração real com aqueles de evaporação do tanque Classe A.

6.6 - VARIAÇÕES DA UMIDADE DE SOLO E CONTEÚDO DE ÁGUA NA PLANTA:

As variações de umidade no perfil do solo foram determinadas gravimetricamente. As amostras de solo eram coletadas diariamente em cada parcela, com auxílio de um trado espiral de 3/4", nos intervalos de profundidades de 0-30 cm, 30-60cm, 60-90 cm e 90-120 cm e colocadas em latas de alumínio com tampas. Estas amostras eram pesadas e levadas a estufa até atingir o equilíbrio térmico a 105 - 110°C, pesando-se novamente, para o cálculo do conteúdo de água do solo.

O armazenamento de água na cultura foi desprezado, considerando-se o fato de que ele é muito pequeno em relação a água armazenada no solo, não influenciando praticamente, na equação do balanço de água.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A condutividade hidráulica do solo, determinada teoricamente para o intervalo de profundidade 90-120cm, é apresentada na Fig. 1. Observa-se nesta Fig., que este tipo de condutividade é uma função do conteúdo de água do solo e aumenta com o conteúdo de água do solo, fazendo-se máxima e constante em condições de saturação. Quando o solo começa a perder água, tornando-se não saturado, inicialmente, a água é substituída pelo ar nos poros maiores, continuando somente nos poros menores. Estes poros menores, oferecem maior resistência devido às suas sinuosidades, ou mesmo, à formação de bolsas descontínuas, ao conduzir água através deles. Portanto, à medida que o conteúdo de água do solo diminui, há um decréscimo da condutividade hidráulica.

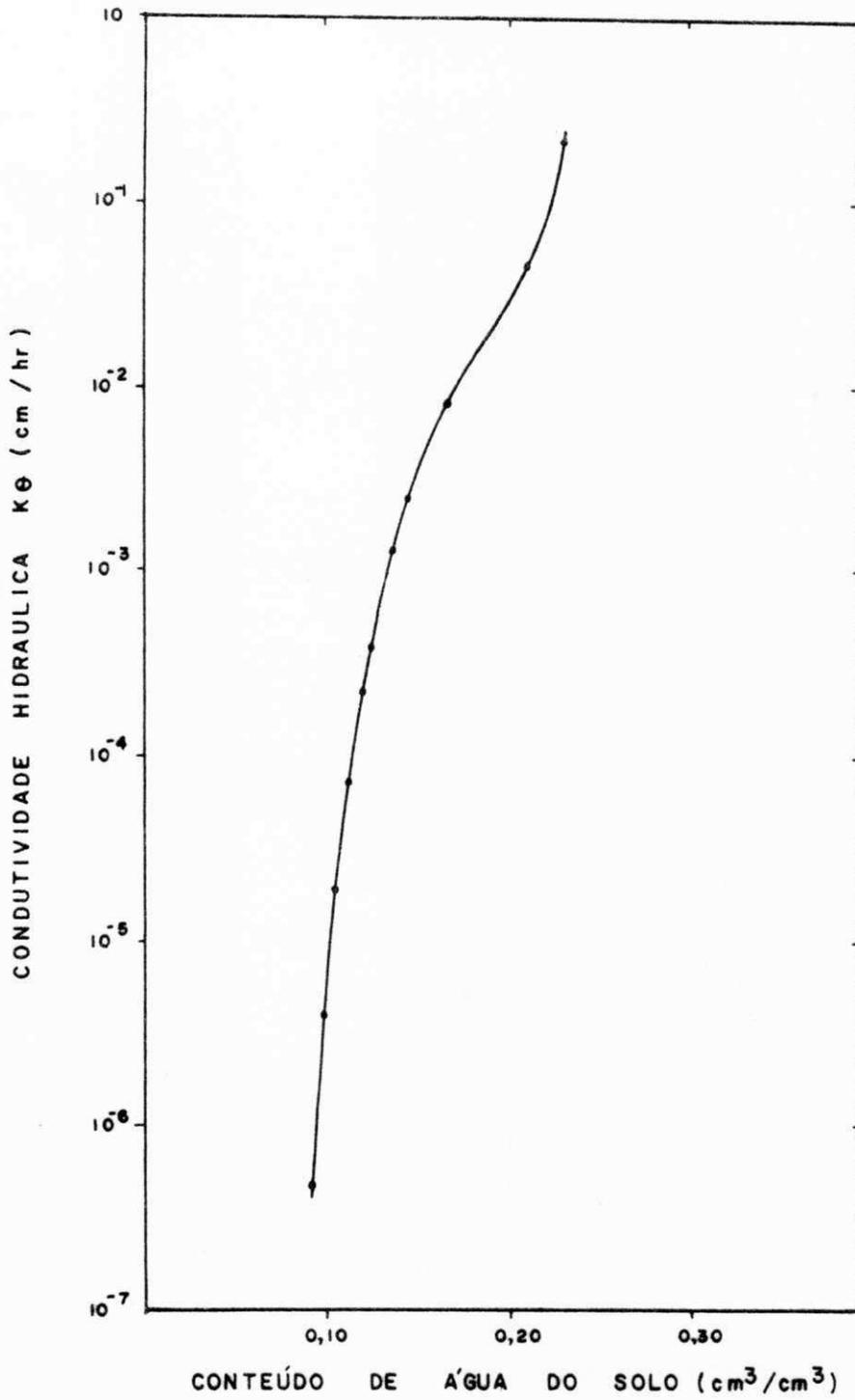


Fig.1 - Condutividade hidráulica do solo estudado para a profundidade 90-120 cm.

A Fig. 2 apresenta as curvas de retenção de água no solo, para os intervalos de profundidades 0-30 e 90-120cm, utilizadas para se obter os gradientes hidráulicos. Na abcissa é representada a tensão de água no solo, em cm de água e na ordenada, o conteúdo de água do solo expressado em volume. Observa-se, nesta Fig., que a tensão, com a qual, uma mesma quantidade de água está retida no solo, é menor para o intervalo de profundidade 0-30cm do que para o intervalo 90-120cm. Explica-se o fato ao se analisar a Tabela 2, no Apêndice, onde se observa que, na profundidade 90-120cm, existe um maior conteúdo de argila do que no intervalo 0-30cm (19,88 e 12,21% , respectivamente), apresentando por isto uma maior capacidade de retenção de água. Dados da condutividade hidráulica, para cada conteúdo de água do solo, foram utilizados, em conjunto, com os gradientes hidráulicos e a Lei de Darcy, com o propósito de determinar a água percolada abaixo dos 120cm do perfil de solo.

Os fluxos de água (cm), percolando através do intervalo de profundidade 90-120cm, para os quatros tratamentos, no período em estudo, foram considerados como perda por drenagem, porque ocorreram abaixo da zona radicular do Capim Elefante. Os resultados destes fluxos, no período entre 22 de janeiro a 30 de novembro, são apresentados na Fig. 3 para os tratamentos A e D. Os valores dos fluxos de água atingiram o

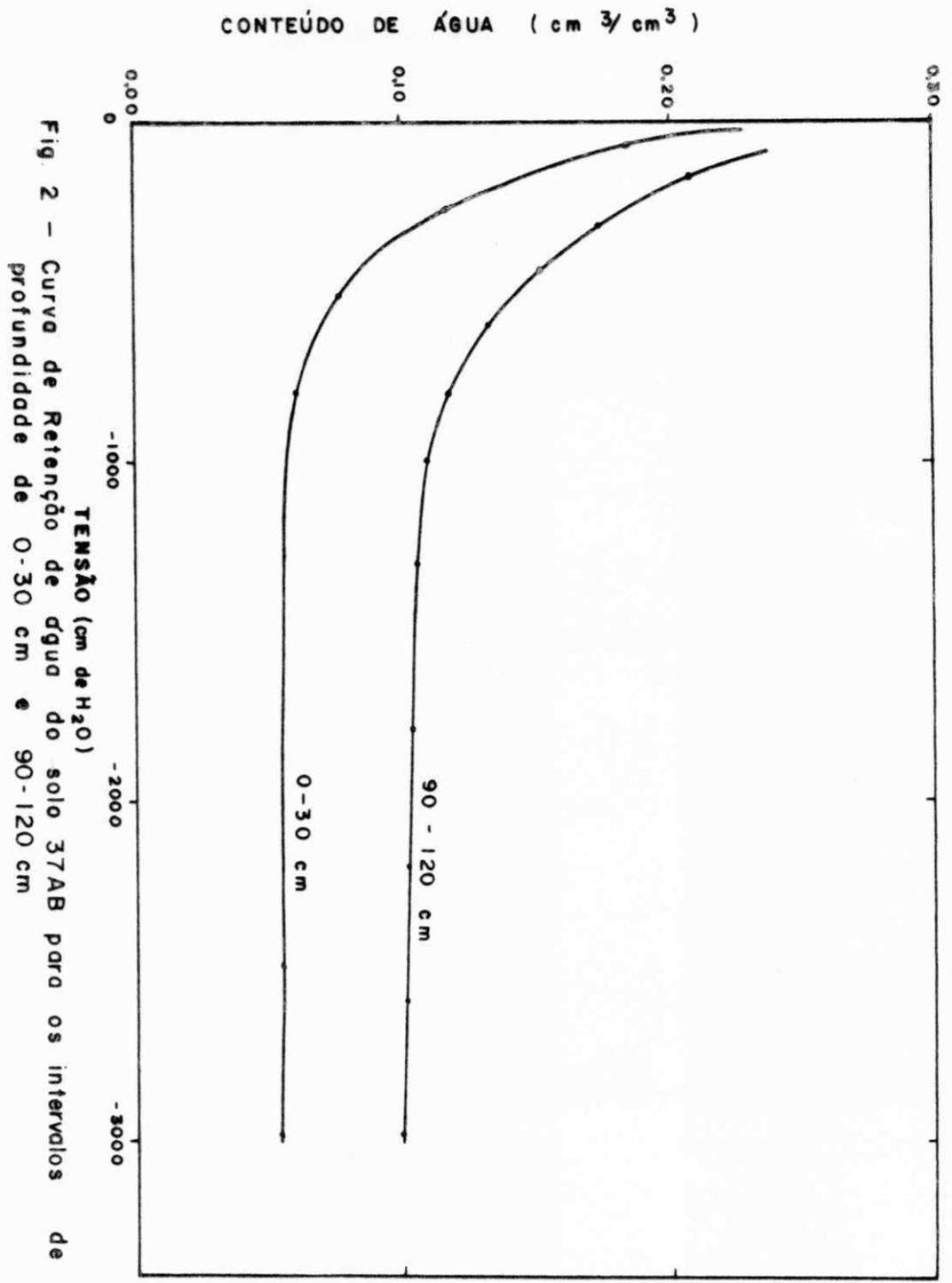


Fig. 2 - Curva de Retenção de água do solo 37AB para os intervalos de profundidade de 0-30 cm e 90-120 cm

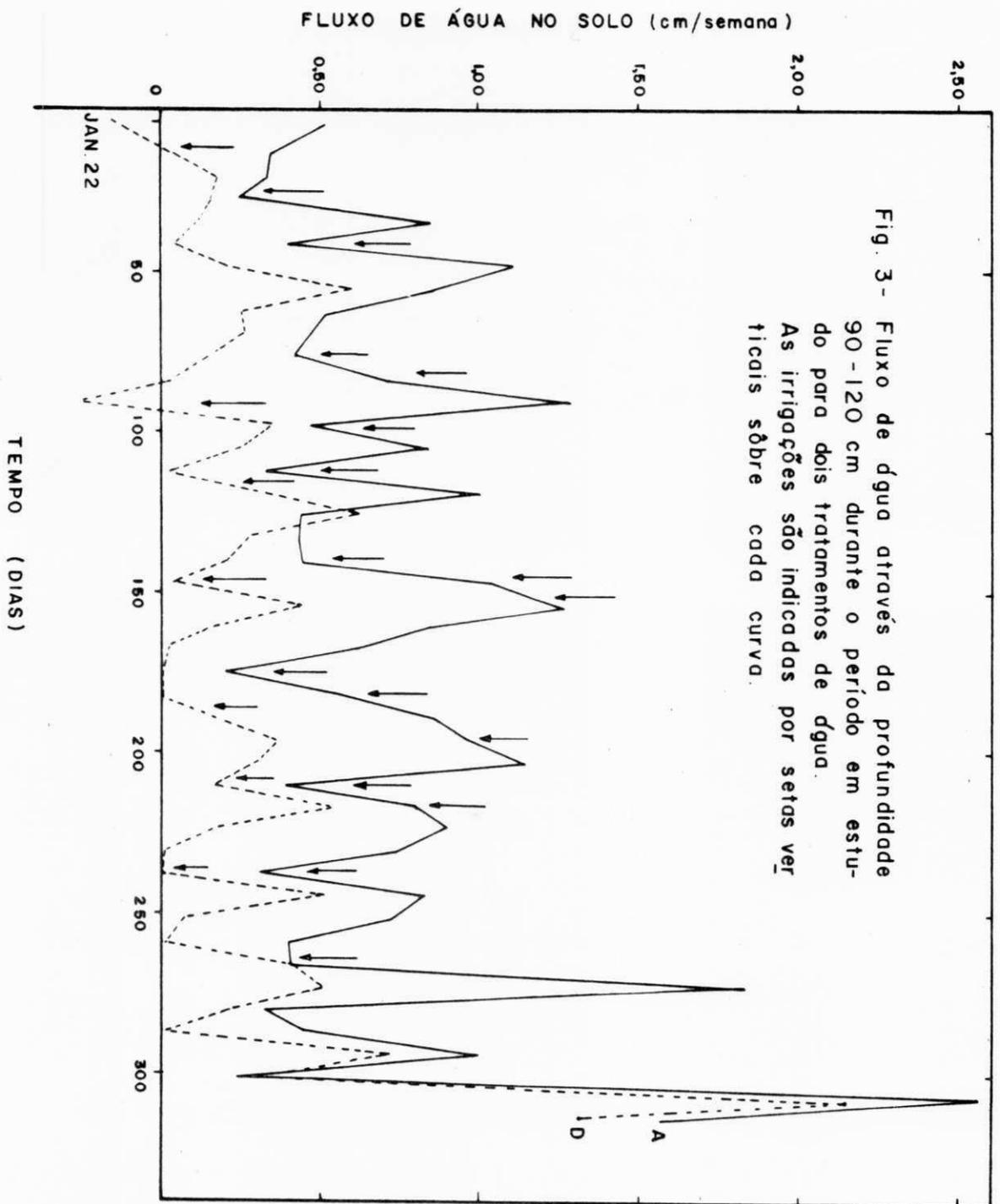


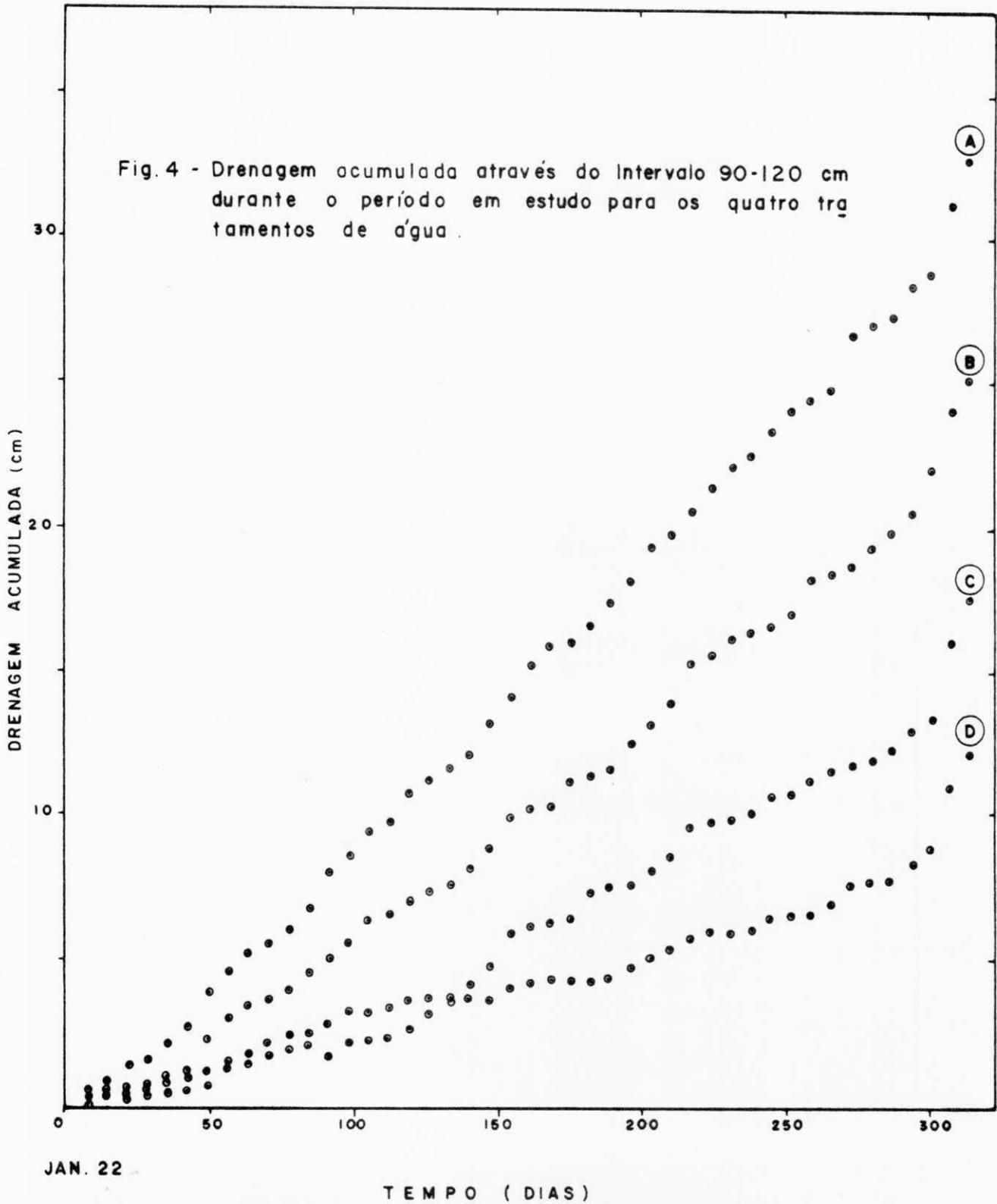
Fig. 3 - Fluxo de água através da profundidade 90-120 cm durante o período em estudo para dois tratamentos de água. As irrigações são indicadas por setas verticais sôbre cada curva.

máximo, sempre no mesmo período, compreendido entre 17 e 24 de novembro, após uma chuva de 8,39cm. Os valores obtidos foram 2,55; 2,16; 2,68; e 2,16cm, para os tratamentos A, B, C e D, respectivamente. No entanto, os fluxos mínimos para cada tratamento, não foram atingidos no mesmo período. Análises da Fig. 3 permitem observar que o fluxo mínimo para o tratamento A foi de 0,20 cm, ocorrido entre 7 - 14 de julho. Para os tratamentos B e C, os fluxos mínimos foram de 0,092cm, entre 30 de junho a 7 de julho, e 0,27 cm entre 28 de julho a 4 de agosto, respectivamente.

Ao contrário dos tratamentos A, B e C em que o fluxo foi sempre descendente, no tratamento D, em duas ocasiões, ocorreu fluxo ascendente, isto significa dizer que a água penetrou na camada de solo 90-120cm, proveniente de camadas inferiores. Análises da Figura 3, permitem observar que os fluxos ascendentes ocorreram nos períodos compreendidos entre 21 e 28 de janeiro e 14 e 21 de abril. A ocorrência destes fluxos ascendentes se deve à prolongada deficiência de água ocorrida antes destes períodos (Ver Tabela 3). O mesmo fluxo ascendente foi de 0,25 cm atingido na semana compreendida entre 14 e 21 de abril. O máximo fluxo ascendente diário foi atingido no dia 15 de abril, com um valor de 0,11 cm. Stone et alii (1972), trabalhando com sorgo, nos EUA, observaram um fluxo ascendente de 0,20 cm/dia. Por outro lado, um fluxo máximo ascen

dente de 0,40 cm/dia, na zona radicular do sorgo, foi encontrado por van Bavel et alii em 1968. Carvallo et alii (1975), trabalhando com soja, nos EUA, também encontraram um fluxo ascendente máximo de 0,018 cm/dia, durante o verão. Dados obtidos pelos referidos pesquisadores e o encontrado neste trabalho, podem indicar a relevância deste fluxo. Stone et alii (1972) afirmam que pode acontecer um fluxo de sais solúveis e biocidas para zona radicular das plantas, se houver altas concentrações destas substâncias numa determinada profundidade do perfil do solo. Por outro lado, somente o fluxo de água ascendente, pode não suprir a planta na sua estação de crescimento.

A drenagem acumulada para os quatro tratamentos de água, através do perfil do solo, abaixo da zona radicular do Capim Elefante, é apresentada na Fig. 4. Os valores totais da drenagem acumulada para os tratamentos A, B, C e D foram de 32,8; 25,1; 17,6; e 12,3 cm, respectivamente. Embora as quantidades totais de água aplicadas por irrigação, não tenham sido muito diferentes para cada tratamento (ver Tabela 3), as perdas por drenagem, naqueles tratamentos foram mais influenciadas pela frequência de irrigação do que pela quantidade total de água aplicada. A maior frequência, originou uma maior perda por drenagem. Deste modo, a maior perda por drenagem foi encontrada no tratamento A, com intervalos médios entre irrigações de 16 dias. A menor drenagem foi obtida no tratamento D, tendo sido feitas as irrigações, em média, cada 34 dias. Isto



pode ser explicado, pelo conteúdo de água existente no solo, no momento da irrigação. No tratamento A, este conteúdo foi sempre de 60% de sua água disponível, quando se irrigava; e no tratamento D, a água disponível foi sempre de 15%, afetando assim, os valores da condutividade hidráulica em condições de não saturação e o gradiente hidráulico, que, em consequência, produziu variações nos valores da drenagem (Equação de Darcy). As parcelas do tratamento D, que tiveram a menor frequência de irrigação, com irrigações a cada 34 dias, apresentaram, a maior parte do tempo, a superfície do solo quase sempre seca, com potenciais de água maiores nas camadas superficiais que nas camadas mais profundas do solo. Estes gradientes de potenciais poderiam produzir fluxo ascendente de água dentro do perfil do solo, o qual foi verificado para a camada 90-120cm. Ainda mais, a cultura submetida a uma alta deficiência de água, a reteria mais fortemente, prevenindo drenagem. Nas parcelas do tratamento A, com uma maior frequência de irrigação, estes fenômenos não ocorreram e a alta drenagem obtida durante o período em estudo, poderá ser assim justificada.

Quando se aplicava água por irrigação nos tratamentos, resultava um incremento na taxa de drenagem, o que poderia ser observado se se colocassem setas verticais na Fig. 4, indicando as irrigações. Observa-se que a maior inclinação nas curvas de drenagem acumulada, ocorreu entre 17-24 de novem

bro, devido a uma precipitação de 8,39 cm, registrada neste período.

A evapotranspiração acumulada real ou atual (ETa) é apresentada na Fig. 5, para os tratamentos de água A e D. As evapotranspirações reais acumulada para os tratamentos de água A, B, C e D, durante o período em estudo, foram de 131,62; 130,37; 131,61 e 125,21cm, respectivamente. Observando-se estes valores, verifica-se que as evapotranspirações acumuladas para os tratamentos A, B e C, não divergiram muito e foram maiores que para o tratamento D. Este fenômeno poderia ser explicado caso se considere que plantas, em um melhor estado de desenvolvimento (maior quantidade de água disponível) têm uma maior capacidade de evapotranspiração. A inexistência de diferenças na ETa, encontradas entre os tratamentos A, B e C poderia ser explicada, devido ao fato de que, provavelmente, os conteúdos de água existentes no solo, entre cada irrigação, tenham originado semelhante desenvolvimento das plantas que, associadas a uma igual demanda evaporativa, produziram evapotranspirações reais similares.

Os valores da ETa acumulada, determinados para o período em estudo, foram comparados com a ETa calculada, mediante a fórmula de Hargreaves (1974), com a evapotranspiração potencial (ETP) determinada pela fórmula de Garcia-Lopez e com os dados de evaporação obtidos no tanque Classe A, recomendado pelo USWB. Os valores da ETa obtidos neste estudo, para os tratamentos A, B, C e D foram menores que a ETa determinada

pelo método de Hargreaves. A diferença entre os valores obtidos no campo e aqueles obtidos, usando a fórmula de Hargreaves, é, provavelmente, devido ser este um método empírico, que utiliza médias mensais de parâmetros climatológicos. Como esperado, os valores da ETP, calculados pelo método de Garcia-Lopez, foram maiores do que aqueles da ETA medidos para os tratamentos A, B, C e D.

As perdas de água do tanque de evaporação, foram de 221,73 cm, valor muito mais alto do que os encontrados experimentalmente ou mediante o uso de fórmulas empíricas. Chang (1968) assinala que o processo de evaporação é similar mas não idêntico à evapotranspiração. Ele indica que a relação pode ser adequada para muitos objetivos agrícolas. Os resultados obtidos nesta experiência mostram que, embora a evaporação do tanque seja diferente da evapotranspiração, esta pode servir como indicador da evapotranspiração potencial e pode ser convertida em evapotranspiração real, mediante o estabelecimento de coeficientes de correção K. A evapotranspiração real semanal acumulada obtida empiricamente pela fórmula de Hargreaves, a evapotranspiração semanal acumulada medida experimentalmente, para os tratamentos A e D, a evapotranspiração potencial acumulada, obtida pela fórmula de Garcia-Lopez e a evaporação do tanque Classe A, são apresentados na Fig. 5.

Os dados de evapotranspiração medidos no campo

BIBLIOTECA

CENTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA

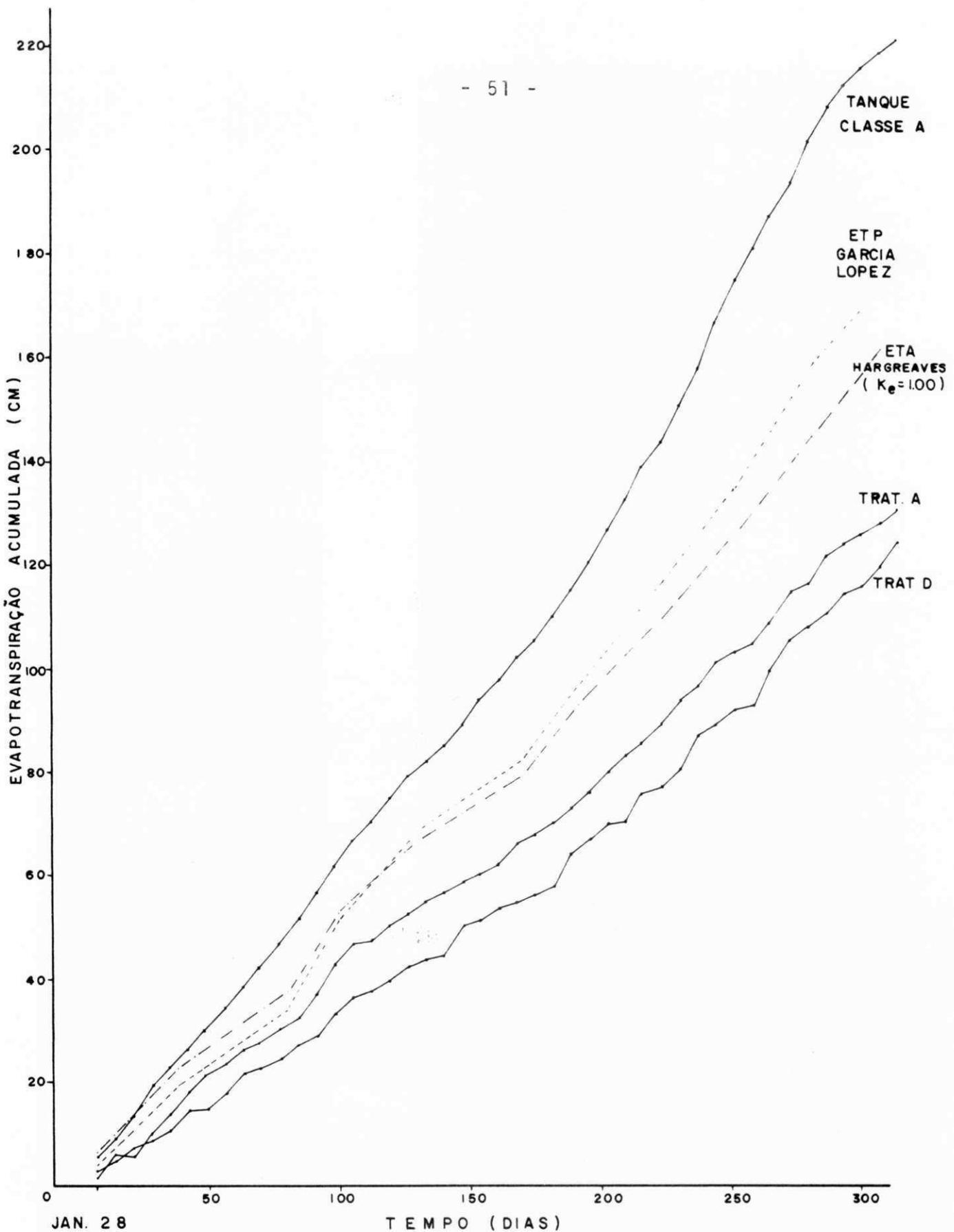
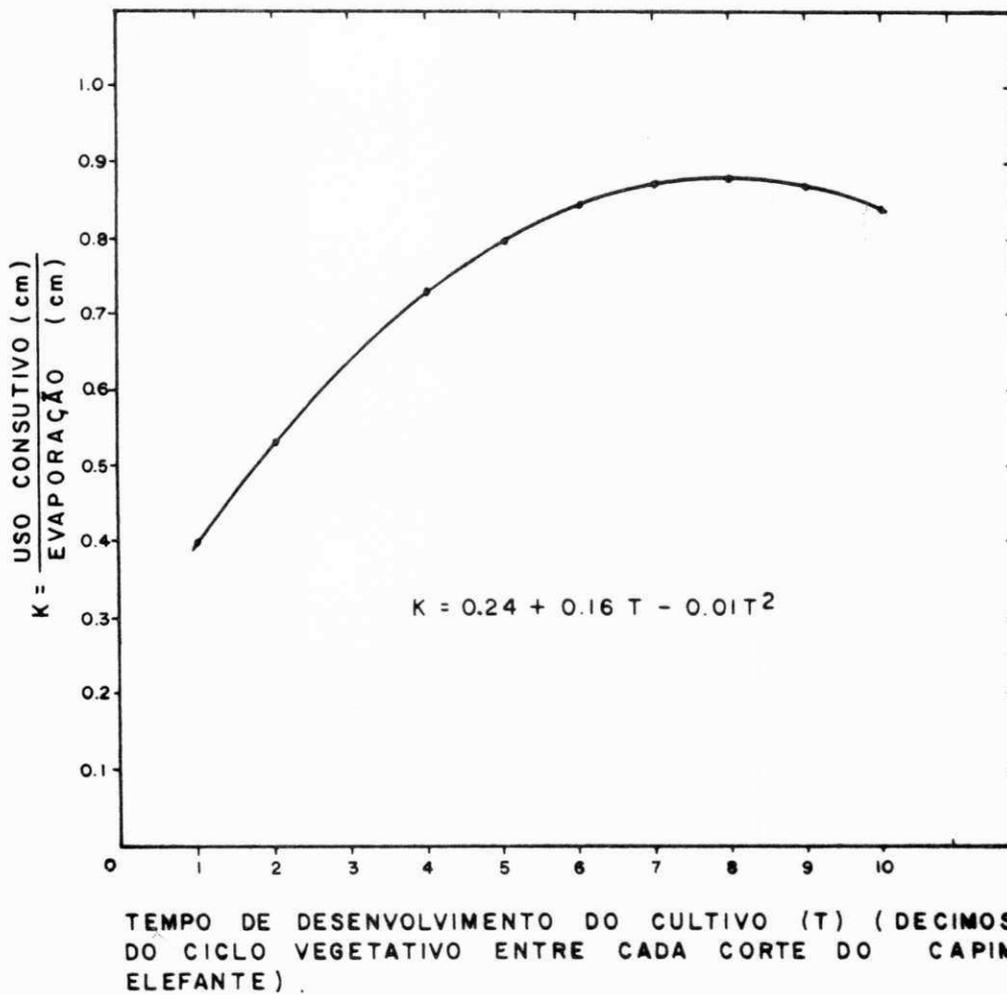


Fig. 5 - Comparação entre a evaporação de tanque, evapotranspiração potencial estimada pelo método de Garcia-Lopez, evapotranspiração real estimada pelo método de Hargreaves e evapotranspiração real do capim elefante para os tratamentos A e D.

Fig. 6 - Relação entre o ciclo vegetativo e os coeficientes de uso consutivo.



e os dados de evaporação do tanque foram utilizados para o estabelecimento dos coeficientes de correção K na cultura do Capim Elefante. Para a obtenção do coeficiente K, o ciclo vegetativo, considerado entre cada corte (média de 6 cortes), foi dividido em dez períodos. Assim obteve-se 10 valores médios de K para cada tratamento de água.

Uma análise de regressão dos valores de K, para os quatros tratamentos de água, permitiu obter a seguinte relação:

$$K = 0,24 + 0,16 T - 0,01 T^2$$

Onde K é o coeficiente de correção e T o tempo (em décimos do ciclo vegetativo entre cada corte). A Fig. 6 apresenta a curva de regressão, a qual pode ser de grande utilidade em planejamento e projetos com Capim Elefante irrigado, podendo-se utilizar a evaporação do tanque classe A, disponível em quase toda estação meteorológica de classe média, para determinar o uso consuntivo da cultura e programar as irrigações.

O resumo do balanço total da água do solo para os quatros tratamentos de irrigação, durante o período em estudo e os rendimentos do Capim Elefante, obtidos sob estes tratamentos, são apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 - BALANÇO DE ÁGUA DO SOLO E RENDIMENTO DE CAPIM ELEFANTE PARA OS QUATRO TRATAMENTOS DE ÁGUA

TRATAMENTO	PRECIPITAÇÃO (cm)	IRRIGAÇÃO (cm)	DRENAGEM (cm)	EVAPOTRANSP. (cm)	RENDIMENTOS * (Ton/Ha)
A	42,39	85,82	32,84	131,62	145,55
B	42,39	93,16	25,14	130,39	137,00
C	42,39	86,95	17,62	131,61	133,90
D	42,39	85,69	12,26	125,21	121,64

* Produção total proveniente de seis cortes

Os maiores rendimentos do Capim Elefante foram obtidos com o tratamento A, com a maior frequência de irrigação. Os rendimentos diminuíram quando se aumentou o intervalo de tempo entre irrigações. Deste modo, para se obter 145,55 Ton/Ha (seis cortes) o uso consuntivo, considerado para fins práticos, igual a evapotranspiração real, foi de 131,62 cm de água. O uso consuntivo diminuiu com o decréscimo dos rendimentos.

Se se considera as perdas totais de água como a soma da evapotranspiração mais a drenagem e como eficiência de uso da água a relação entre o rendimento e as perdas totais de água, observa-se que os valores desta eficiência foram de 0,88; 0,88; 0,90 e 0,88 para os tratamentos A, B, C e D, respectivamente. Assim, ao se observar a Tabela 5, o tratamento de irrigação que produziu o maior rendimento, não foi necessariamente o de maior eficiência; isto se justifica em virtude das grandes perdas de água por drenagem.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E REDOMENDAÇÕES

Tendo-se por base os resultados obtidos, pode se concluir:

- 1 - O fluxo de água, através da profundidade do solo 90-120cm, para os tratamentos A, B e C foi sempre descendente, atingindo os valores máximos de 0,80; 0,56; e 0,88 cm/dia na semana. No tratamento D, em duas ocasiões, ocorreram fluxos ascendentes, atingindo um valor máximo de 0,11 cm/dia. O fluxo descendente foi considerado como drenagem.
- 2 - Os valores totais da drenagem acumulada, abaixo da zona radicular do Capim Elevante, foram de 32,8; 25,1; 17,6 e 12,3 cm, para os tratamentos A, B, C e D, respectivamente. Consequentemente, a drenagem decresceu, quando o intervalo de tempo entre as irrigações aumentou.

- 3 - As evapotranspirações reais acumuladas para os tratamentos de água A, B, C e D, durante o período em estudo, foram de 131,62; 130,37; 131,61 e 125,21 cm, respectivamente.
- 4 - Os rendimentos do Capim Elefante diminuíram quando se aumentou o intervalo de tempo entre as irrigações. Os maiores rendimentos (145,55 Ton/Ha) foram obtidos com o tratamento A, com irrigações a cada 16 dias em média. Os menores rendimentos (121,64 Ton/Ha) foram obtidos com o tratamento D, com irrigações a cada 34 dias em média.
- 5 - Embora, os maiores rendimentos de Capim Elefante tenham sido obtidos com o tratamento A, este tratamento não foi o mais eficiente no uso da água, devido às grandes perdas de água por drenagem.
- 6 - Determinaram-se os coeficientes de correção K, com a finalidade de transformar a evaporação obtida em tanques Classe A em evapotranspiração real. Tais coeficientes, dependendo do estágio de desenvolvimento do Capim Elefante, variaram entre 0,39 e 0,88.
- 7 - O balanço de água em solos irrigados, deveria ser realizado nos perímetros de irrigação, com a finalidade de se determinarem e se relacionarem os fatores solo-água-planta-clima, obtendo-se, deste modo, maior eficiência e consequentemente maiores produções das culturas.

- 8 - Recomenda-se testar os fatores de correção (K), obtidos neste estudo, com outros métodos de determinação da necessidade de água em experimentos com Capim Elefante.

B I B L I O G R A F I A

- BAVER, L. D., GARDNER, W. H. & GARDNER, W. R. Soil Physics. 4 ed. New York, JOHN WILEY & SONS, Inc., 1972.
- CARVALLO, H. O., CASSEL, D. K. & BAUER, A. Water Losses from Soybean Field by Deep Percolation and Evapotranspiration. Water Resources Research, Fargo, 2(2):267-74, Apr. 1975.
- CARVALLO, H. O. & AZEVEDO, H. M. de.,. Determinação da Condutividade Hidráulica não Saturada, Baseada na Curva de Retenção de Água do Solo. Fortaleza, III SENIR, MINTER-ABID-DNOCS, 1975.
- CHANG, Jen-Hu. Climate And Agriculture. Chicago, Alkne Publishing Company, 1968.
- CHOW, Ven Te. Runoff. In: ———. Handbook of Applied Hydrology. New York, McGRAW -HILL Book Company, 1964, Section 14, p. 1-54.
- DAY, Paul R. Particle Fractionation and Particle-size Ana-

- lysis. In: BLACK, C.A., ed. Methods of Soil Analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965, p. 545-67.
- EDWARDS, K. A. Sources of Error in Agricultural Water Budgets. In: TAYLOR, James A., ed. The Role of Water in Agriculture. Aberystwyth, University of Wales, 1969, cap. 2, p. 11-23.
- FAO/PNUD. Estudios de Irrigación e Ingeniería. Estudios de la cuenca del río S. Francisco. Roma, FAO/PNUD, 1971.
- GARDNER, W.R. HILLEL, D. & BENYAMINI, Y. Post-irrigation movement of soil water. II-Simultaneous redistribution and evaporation. Water Resources Research, Washington, 6:1148-53, 1970.
- GARDNIER, B. J. A Method of Computing Potencial Evapotranspiration in West Africa. Bulletin de l'Institute Français d'Afrique Noire, Dakar, 18:665-76, 1956.
- GILMAN, Charles S. Rainfall. In: CHOW, Ven Te, ed. Handbook of Applied Hydrology. New York, McGRAW-HILL Book Company, 1964, Section 9, p. 1-68.
- GRASSI, Carlos J. Estimacion de los Usos Consuntivos de Agua y Requerimientos de Riego con Fines de Formulacion y Diseño de Proyectos. Mérida, CIDIAT, 1968.
- GROF, B. Elephant Grass Shows Promise for Grazing Queensland, Queensland Agricultural Journal, 84:70, 1958.

- HAISE, H. R. & HAGAN, R. M. Soil, Plant, and Evaporative Measurements as Criteria for Sheduling Irrigation. In: HAGAN, ROBERT, M., ed. Irrigation of Agricultural Lands. Madison, American Society of Agronomy 1967, cap. 30, p. 577-97.
- HARDEE, James E. Analysis of Colombian Precipitation to Estimate Irrigation Requirements. M. S. Thesis. Logan, Utaht State University Library, 1971 .
- HARGREAVES, G. H. Monthly Precipitation Probabilities for Northeast Brazil. Logan, Utah State University Library, 1973.
- HARGREAVES, G. H. Potential Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast Brazil. On-Farm Water Management Research Program. Logan, Utah State University, 1974.
- HILLEL, D. Soil and Water - Physical Principles and Processes, 3 ed. New York, Academic Press, 1971.
- HILLEL, D. The field water balance and use efficiency. In: Optimizing the Soil Environment Toward Greater Crop Yields . New York, Academic Press, 1972. p.79-100.
- HOLMES, J. W. et alii. Measurement of Soil Water. In: HAGAN, Robert M., ed. Irrigation of Agricultural Lands. Madison, American Society of Agronomy, 1967. cap. 15, p. 275-98.
- ISRAELSEN, O. W. & HANSEN, V. E. Irrigation Principles and Practices. 3 ed. New York , JOHN WILEY & SONS, Inc. 1965.
- JENSEN, M. E., Programming Irrigation for Greater Efficiency .

- In: Optimizing the Soil Environment Toward Greater Crop Yields. New York, Academic Press, 1972, p. 134-61.
- KOPPEN, W. Climatologia con um Estudio de los Climas de la Tierra. México, Fondo de Cultura Economica, 1948.
- LAUCIANI, E., Il Bilancio Idrologico del Terreno Agrario e sua Applicazione alla Determinazione dei Fabbisogni Irrigui (O Balanço Hidrológico de Solo Agrícola e sua aplicação para a Determinação da Necessidade de Irrigação). L'Irrigazione Bologna, 1-2:11-24, 1970.
- LIGON, J. T. Evaluate of the Gamma Transmission Method for Determining Soil Water Balance and Evapotranspiration. Michigan, American Society of Agricultural Engineers, Paper N° 68, June, 1968.
- MARICONI, M.A.F., Inseticidas e seu Emprego no Combate às Pragas. 2 ed. Piracicaba, Agronomica CERES, 1963.
- MARSHALL, T.J. Efficient Management of Water in Agricultural
In: Optimizing the Soil Environment Toward Greater Crop Yields. New York, Academic Press, 1972, p. 11-22.
- NIELSEN, D.R. BIGGAR, J. W & COREY J. C.. Applications of Flow Theory to Field Situations. Soil Sci. 113:254-63, 1972.
- PAIR, C. H. et alii Plant and Irrigation Water Requirements
In: — ed: Sprinkler Irrigation. Washington, Sprinkler Irrigation Association, 1969. Cap. 5 - p. 94-167.

- PINTO, N. et alii. Hidrologia de Superfície. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda., 1973.
- RICHARDSON, C. W. & RITCHIE J. T. Soil Water Balance for Small Watersheds. American Society Agricultural Engineers, Madison, May, 1973.
- ROBINSON, A. R. & HUMPHERYS, A. R. Water Control and Measurement on the Farm. In: HAGAN Robert M., ed. Irrigation of Agricultural Lands. Madison, American Society of Agronomy, 1967, cap. 42, p. 828-50.
- RODDA, J. C. Definite Rainfall Measurements and Their Significance for Agriculture. In: TAYLOR, James A. ed. The Role of Water in Agriculture. Aberystwyth, University of Wales, 1969, Cap. 1, p. 1-10.
- ROSE, C. W., & STERN, W.R. The Drainage Component of the Water Balance Equation. Aust. J. Soil. Res., 3:95-100, 1965.
- ROUSE, Wayme R. Effects of Soil Water Movement on Actual Evapotranspiration Estimated from the Soil Moisture Budget. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 50(3):409-17.
- SLATYER, R. O. & SHMUELI, E. Measurement of Internal Water Status and Transpiration. In: HAGAN, Robert M. ed. Irrigation of Agricultural Lands. Madison, American Society of Agronomy, 1967, cap. 18, p. 337-45.
- STONE, L. R. et alii. Water Loss from an Irrigated Sorghum

Field: II - Evapotranspiration and Root Extraction, Agro-
nomy Journal, Madison 65:496-97, 1973.

TANNER, C. B. Measurement of Evapotranspiration. In: HAGAN, Ro-
bert M. ed. Irrigation of Agricultural Lands. Madison, Ame-
rican Society of Agronomy, 1967, cap. 29, p. 534-55.

THORNE, D. W & PETERSON, H. B. Técnica del Riego. México, Com-
pañía Editorial Continental, 1969.

VAN BAVEL, C. H.M. et alii. Hydraulic Properties of Clay Loam
Soil and Field Measurement of Water Uptake by Roots: II -
The Water Balance of the Root Zone. Soil Sci. Amer. Proc.
32:317-321, 1968.

VEIHMEYER, Frank J. Evapotranspiration. In: CHOW, Ven Te, ed.
Handbook of Applied Hydrology. New York, McGRAW-HILL, Book
Company, 1964, Section II, p. 3-38.

VERÇOSA, P. Solos. Campina Grande, UFPb, 1972.

VICENTE - CHANDLER, J. The Intensive Management of Tropical Fo-
rages in Puerto Rico. Agriculture Experimental Station
Bulletin N° 187, Puerto Rico, 1964.

WATKINS, J.M. Effect of Frequency and Height of Cutting on the
Yield, Stand and Protein Content of some Forages in El
Salvador. Agronomy Journal, Madison, 88:225-27, 1951.

WIESNER, C. J. Climate, Irrigation and Agriculture. Sydney, An-
gus and Robertson Ltda., 1970.

WILCOX, J. C. Rate of Soil Drainage Following an Irrigation.
II - Effects of Determination of Rate of Consumptive use
Canadian Journal of Soil Science Ottawa, 40:15-27, 1968

ZIMMERMAN, J. D. Irrigation. New York, JOHN WILEY & SONS, Inc.,
1969.

A P E N D I C E

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DO SOLO 37AB

- A1 - 0-12cm; bruno amarelado (10YR 5/4) úmido; arenoso; massi
va-porosa; não plástica e não pegajoso; limite gradual e
plano.
- A3 - 12-33cm; bruno amarelado (10YR 5/6) úmido; areno-barren-
to, massiva porosa; não plástica e não pegajoso; limite
gradual e plano.
- B1 - 33-80cm; bruno amarelado (10YR 5/8) úmido; barro-arenoso;
fraca, média, blocos sub-angulares; friável, ligeiramen-
te pegajoso; limite claro e plano.
- B22 - 80-115cm; amarelo avermelhado (7,5YR 6/6) seco; bruno
forte (7,5YR 5/8) úmido; mosqueado comum, médio, distin-
to, vermelho, barro argiloso; barro argilo-arenoso, es
trutura fraca, média em blocos sub-angulares que se des-
fazem em granular; friável, ligeiramente plástica e li-
geiramente pegajoso; limite gradual e plano.
- B23 - 115-150cm; amarelo avermelhado (7,5YR 6/6) seco, bruno
forte (7,5YR 5/8) úmido; mosqueado pouco, médio, distin-
to, vermelho, e, pouco, médio, cinza claro: barro-argilo-
arenoso; estrutura fraca, média, em bloco sub-angulares
que se desfazem em granular; friável, ligeiramente plás-
tico e pegajoso.

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO 37 AB - CAMPO 2

PROF.	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)	PM (%)	CC (%)	Dap (%)	AD (%)
0 - 30	86,42	1,37	12,21	2,44	9,00	1,56	6,56
30 - 60	80,82	1,27	17,91	3,71	9,48	1,52	5,77
60 - 90	78,83	3,23	17,88	3,89	10,32	1,53	6,43
90 - 120	76,20	3,92	19,88	4,48	10,32	1,54	5,84
120 - 150	71,72	4,24	24,04	4,50	10,29	1,55	5,79

PM = Ponto de murchamento
 CC = Capacidade de campo
 Dap = Densidade aparente
 AD = Água disponível

TABELA 3 - PRECIPITAÇÃO (cm) OCORRIDA DURANTE O PERÍODO EM ESTUDO

DIA	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAIO	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.
01			0,27	0,08		0,25					
02		0,08									
03		1,19									
04		0,54	4,00			0,09					
05						0,06					
06			0,51			0,64					
07			2,18			0,08					
08			0,70								
09											
10		0,10									
11											0,59
12											1,96
13			0,06	0,18						0,34	
14			0,17								
15				0,64			0,08			1,22	
16		1,04					0,10				0,02
17			0,82				0,01				
18			0,36	0,09							0,01
19			2,24			0,06					
20		1,28	0,27	0,01							4,82
21		0,29			0,50						0,78
22	*					0,09					2,78
23		0,08									
24		0,65	1,04	0,05	0,10	0,20					
25											1,86
26		1,06									0,14
27		0,18	1,06								
28	0,02										
29	0,70	0,03									
30	0,09										
31											
SOMA	0,99	7,40	13,26	0,91	0,68	1,39	0,19			4,61	12,96

T O T A L = 42,39cm

* Início do balanço de água

TABELA 4 - DATAS E QUANTIDADES DE ÁGUA APLICADA NA IRRIGAÇÃO DO CAPIM ELEFANTE, DURANTE O PERÍODO: 22 de janeiro a 30 de novembro.

T R A T A M E N T O S							
A		B		C		D	
DATA	LAMINA (cm)	DATA	LAMINA (cm)	DATA	LAMINA (cm)	DATA	LAMINA (cm)
23/01	4,517	11/02	6,211	22/01	7,905	29/01	8,899
14/02	4,517	10/04	6,211	17/04	7,905	21/04	9,599
06/04	4,517	27/04	6,211	10/05	7,905	18/05	9,599
18/04	4,517	13/05	6,211	04/06	7,905	15/06	9,599
28/04	4,517	04/06	6,211	15/06	7,905	26/07	9,599
12/05	4,517	15/06	6,211	15/07	7,905	16/08	9,599
25/05	4,517	07/07	6,211	07/08	7,905	14/09	9,599
11/06	4,517	26/07	6,211	16/08	7,905	09/10	9,599
15/06	4,517	09/08	6,211	13/09	7,905	03/11	9,599
27/06	4,517	16/08	6,211	01/10	7,905		
15/07	4,517	03/09	6,211	01/11	7,905		
26/07	4,517	16/09	6,211				
06/08	4,517	30/09	6,211				
16/08	4,517	23/10	6,211				
30/08	4,517	06/11	6,211				
13/09	4,517						
25/09	4,517						
11/10	4,517						
01/11	4,517						
TOTAL	85,823		93,165		86,955		85,691

OBS: Intervalo médio entre irrigações: A - 16 dias; B - 19 dias; C - 28 dias e D - 34 dias.